Reaktive Programmierung
Vorlesung 5 vom 17.05.2022
Bidirektionale Programmierung: Zippers and Lenses

Christoph Lüth, Martin Ring

Universität Bremen

Sommersemester 2022

Fahrplan

Was gibt es heute?

- Motivation: funktionale Updates
  - Akka ist *stateful*, aber im allgemeinen ist funktional besser
  - Globalen Zustand **vermeiden** hilft der **Skalierbarkeit** und der **Robustheit**
- Der **Zipper**
  - Manipulation innerhalb einer Datenstruktur
- **Linsen**
  - Bidirektionale Programmierung

Ein einfacher Editor

- Datenstrukturen:

```
type Pos    = Int
data Editor = Ed  { text   :: String
                  , cursor :: Pos }
```

- Cursor bewegen (links)

```
go_left :: Editor → Editor
go_left Ed{text= t, cursor= c}
  | c == 0 = error "At start of line"
  | otherwise = Ed{text= t, cursor= c- 1}
```

- Text rechts einfügen:

```
insert :: Editor→ Char→ Editor
insert Ed{text= t, cursor= c} text =
  let (as, bs) = splitAt c t
  in  Ed{text=  as ++ (text: bs), cursor= c+1}
```


Aufwand

- **Aufwand** für Manipulation?
  $O(n)$ mit n Länge des gesamten Textes
- Geht das auch einfacher?

Ein einfacher Editor

- Datenstrukturen:

```
data Editor = Ed  { before :: [Char]  -- In reverse order
                  , cursor :: Maybe Char
                  , after  :: [Char] }
```

  - Invariante: `cursor == Nothing` gdw. `before` und `after` leer
- Cursor bewegen (links):

```
go_left :: Editor→ Editor
go_left e@(Ed [] _ _) = e
go_left (Ed (a:as) (Just c) bs) = Ed as (Just a) (c: bs)
```

- Text unter dem Cursor löschen:

```
delete :: Editor→ Editor
delete (Ed as _ (b:bs)) = Ed as (Just b) bs
delete (Ed (a:as) _ []) = Ed as (Just a) []
delete (Ed [] _ []) = Ed [] Nothing []
```


Manipulation strukturierter Datentypen

- Anderer Datentyp: n-äre Bäume (rose trees)

```
data Tree a = Node a [Tree a]
```

- Bspw. abstrakte Syntax von einfachen Ausdrücken
- Update auf Beispielterm $t = a * b - c * d$: ersetze b durch $x + y$

```
t = Node "-" [ Node "*" [Node "a" [], Node "b" []]
             , Node "*" [Node "c" [], Node "d" []]
             ]
```

  - Referenzierung durch Namen

```
upd1 :: Eq a⇒ a→ Tree a→ Tree a→ Tree a
```

  - Referenzierung durch Pfad: `type Path=[Int]`

```
type Path = [Int]
upd2 :: Path→ Tree a→ Tree a→ Tree a
```


Aufwand

- Aufwand: Mittlere Aufwand $O(\log n)$, worst case $O(n)$
  n Anzahl der Knoten
- Geht das besser — wie beim einfachen Editor?
- Generalisierung der Idee

Der Zipper

- Idee: **Kontext** nicht **wegwerfen**!
- Nicht: `type Path=[Int]`
- Sondern:

```
data Ctxt a = Empty
            | Cons [Tree a] a (Ctxt a) [Tree a]
```

  - Kontext ist 'inverse Umgebung' (*"Like a glove turned inside out"*)
  - Besteht aus linken Nachbarn, Knoten, Kontext darüber, rechtem Nachbarn
- `Loc a` ist **Baum** mit **Fokus**

```
newtype Loc a = Loc (Tree a, Ctxt a)
```


Zipping Trees: Navigation

- Fokus nach **links**

```
go_left :: Loc a→ Loc a
go_left (Loc(t, c)) = case c of
 Cons (l:le) a up ri → Loc(l, Cons le a up (t:ri))
 _                   → error "go_left: at first"
```

- Fokus nach **rechts**

```
go_right :: Loc a→ Loc a
go_right (Loc(t, c)) = case c of
 Cons le a up (r:ri) → Loc(r, Cons (t:le) a up ri)
 _                   → error "go_right: at last"
```


Zipping Trees: Navigation

- Fokus nach **oben**

```
go_up :: Loc a→ Loc a
go_up (Loc (t, c)) = case c of
  Empty → error "go_up: at the top"
  Cons le a up ri →
    Loc (Node a (reverse le ++ t:ri), up)
```

- Fokus nach **unten**

```
go_down :: Loc a→ Loc a
go_down (Loc (t, c)) = case t of
  Node _ [] → error "go_down: at leaf"
  Node a (t:ts) → Loc (t, Cons [] a c ts)
```


Einfügen

- **Einfügen**: Wo?
- **Überschreiben** des Fokus

```
update :: Tree a→ Loc a→ Loc a
update t (Loc (_, c)) = Loc (t, c)
```

- **Links** des Fokus einfügen

```
insert_left :: Tree a→ Loc a→ Loc a
insert_left t1 (Loc (t, c)) = case c of
  Empty → error "insert_left: insert at empty"
  Cons le a up ri → Loc(t, Cons (t1:le) a up ri)
```

- **Rechts** des Fokus einfügen

```
insert_right :: Tree a→ Loc a→ Loc a
insert_right t1 (Loc (t, c)) = case c of
  Empty → error "insert_right: insert at empty"
  Cons le a up ri → Loc(t, Cons le a up (t1:ri))
```


Ersetzen und Löschen

- Unterbaum im Fokus löschen: wo ist der neue Fokus?
  1. Rechter Baum, wenn vorhanden
  2. Linker Baum, wenn vorhanden
  3. Elternknoten

```
delete :: Loc a→ Loc a
delete (Loc(_, c)) = case c of
  Empty → error "delete: delete at top"
  Cons le a up (r:ri) → Loc(r, Cons le a up ri)
  Cons (l:le) a up [] → Loc(l, Cons le a up [])
  Cons [] a up [] → Loc (Node a [], up)
```

- *"We note that `delete` is not such a simple operation."*

Schnelligkeit

- Wie **schnell** sind Operationen?
  - Aufwand: `go_up` $O(left(n))$, alle anderen $O(1)$.
- **Warum** sind Operationen so schnell?
  - Kontext bleibt erhalten
  - Manipulation: reine Zeiger-Manipulation

Zipper für andere Datenstrukturen

- Binäre Bäume:

```
enum Tree[+A]:
  case Leaf(value: A)
  case Node(left: Tree[A],
            right: Tree[A])
```

- Kontext:

```
enum Context[+A]:
  case object Empty
  case Left(up: Context[A],
            right: Tree[A])
  case Right(left: Tree[A],
             up: Context[A])
```

```
  case Loc(tree: Tree[A], context: Context[A])
```


Tree-Zipper: Navigation

- Fokus nach **links**

```
  def goLeft: Loc[A] = context match
    case Empty ⇒ sys.error("goLeft at empty")
    case Left(_,_) ⇒ sys.error("goLeft of left")
    case Right(l,c) ⇒ Loc(l,Left(c,tree))
```

- Fokus nach **rechts**

```
  def goRight: Loc[A] = context match
    case Empty ⇒ sys.error("goRight at empty")
    case Left(c,r) ⇒ Loc(r,Right(tree,c))
    case Right(_,_) ⇒ sys.error("goRight of right")
```

Tree-Zipper: Navigation

- Fokus nach **oben**

```
def goUp: Loc[A] = context match
  case Empty ⇒ sys.error("goUp of empty")
  case Left(c,r) ⇒ Loc(Node(tree,r),c)
  case Right(l,c) ⇒ Loc(Node(l,tree),c)
```

- Fokus nach **unten links**

```
def goDownLeft: Loc[A] = tree match
  case Leaf(_) ⇒ sys.error("goDown at leaf")
  case Node(l,r) ⇒ Loc(l,Left(context,r))
```

- Fokus nach **unten rechts**

```
def goDownRight: Loc[A] = tree match
  case Leaf(_) ⇒ sys.error("goDown at leaf")
  case Node(l,r) ⇒ Loc(r,Right(l,context))
```


Tree-Zipper: Einfügen und Löschen

- **Einfügen** links

```
def insertLeft(t: Tree[A]): Loc[A] =
  Loc(tree,Right(t,context))
```

- **Einfügen** rechts

```
def insertRight(t: Tree[A]): Loc[A] =
  Loc(tree,Left(context,t))
```

- **Löschen**

```
def delete: Loc[A] = context match
  case Empty ⇒ sys.error("delete of empty")
  case Left(c,r) ⇒ Loc(r,c)
  case Right(l,c) ⇒ Loc(l,c)
```

  - Neuer Fokus: anderer Teilbaum

Zipping Lists

- Listen:

```
data List a = Nil | Cons a (List a)
```

- Damit:

```
data Ctxt a = Empty | Snoc (Ctxt a) a
```

- Listen sind ihr 'eigener Kontext' :

$$\text{List } a \cong \text{Ctxt } a$$

Zipping Lists: Fast Reverse

- Listenumkehr **schnell**:

```
fastrev1 :: List a→ List a
fastrev1 xs = rev (top xs) where
  rev :: Loc a→ List a
  rev (Loc(Nil, as))       = as
  rev (Loc(Cons x xs, as)) = rev (Loc (xs, Cons x as))
```

- Vergleiche:

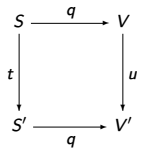
```
fastrev2 :: [a]→ [a]
fastrev2 xs = rev xs [] where
  rev :: [a]→ [a]→ [a]
  rev []     as = as
  rev (x:xs) as = rev xs (x:as)
```

- Zweites Argument von rev: **Kontext**
  - Liste der Elemente davor in umgekehrter Reihenfolge

Bidirektionale Programmierung

- Verallgemeinerung der Idee des Kontext
- Motivierendes Beispiel: Update in einer Datenbank
- Weitere Anwendungsfelder:
  - Benutzerschnittstellen (MVC)
  - Datensynchronisation

View Updates

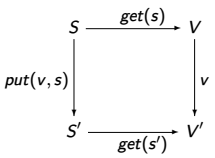


- View v durch Anfrage q (Bsp: Anfrage auf Datenbank)
- View wird **verändert** (Update u)
- Quelle S soll entsprechend angepasst werden (**Propagation** der Änderung)
- Problem: q soll **beliebig** sein
  - Nicht-injektiv? Nicht-surjektiv?

Lösung

- Eine Operation *get* für den View
- Inverse Operation *put* wird automatisch erzeugt (wo möglich)
- Beide müssen invers sein — deshalb **bidirektionale Programmierung**

Putting and Getting



- Signatur der Operationen:

$$\begin{aligned} get &: S \longrightarrow V \\ put &: V \times S \longrightarrow S \end{aligned}$$

- Es müssen die **Linsengesetze** gelten:

$$\begin{aligned} get(put(v,s)) &= v \\ put(get(s),s)) &= s \\ put(v,put(w,s)) &= put(v,s) \end{aligned}$$

Erweiterung: Erzeugung

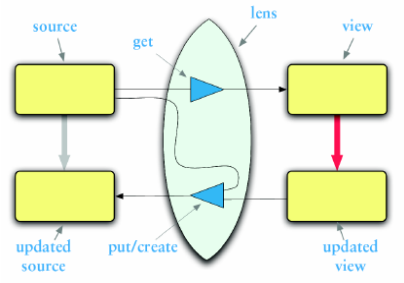
- Wir wollen auch Elemente (im Ziel) erzeugen können.
- Signatur:

$$create : V \longrightarrow S$$

- Weitere **Gesetze**:

$$\begin{aligned} get(create(v)) &= v \\ put(v, create(w)) &= create(w) \end{aligned}$$

Die Linse im Überblick



Linsen im Beispiel

- Updates auf strukturierten Datenstrukturen:

```
case class Turtle(
  position: Point = Point(),
  color: Color = Color(),
  heading: Double = 0.0,
  penDown: Boolean = false)
```

```
case class Point(
  x: Double = 0.0,
  y: Double = 0.0)

case class Color(
  r: Int = 0,
  g: Int = 0,
  b: Int = 0)
```

- Ohne Linsen: functional record update

```
scala> val t = new Turtle();
t: Turtle = Turtle(Point(0.0,0.0),Color(0,0,0),0.0,false)

scala> t.copy(penDown = ! t.penDown);
res5: Turtle = Turtle(Point(0.0,0.0),Color(0,0,0),0.0,true)
```


Linsen im Beispiel

- Das wird sehr schnell sehr aufwändig:

```
scala> def forward(t:Turtle) : Turtle =
    t.copy(position= t.position.copy(x= t.position.x+ 1));

forward: (t: Turtle)Turtle
scala> forward(t);
res6: Turtle = Turtle(Point(1.0,0.0),Color(0,0,0),0.0,false)
```

- Linsen helfen, das besser zu organisieren.

Abhilfe mit Linsen

- Zuerst einmal: die **Linse**.

```
object Lenses {
  case class Lens[O, V](
    get: O => V,
    set: (O, V) => O
  ) }
```

- Linsen für die Schildkröte:

```
  val TurtlePosition =
    Lens[Turtle, Point](_.position,
      (t, p) => t.copy(position = p))

  val PointX =
    Lens[Point, Double](_.x,
     (p, x) => p.copy(x = x))
```


Benutzung

- Längliche Definition, aber einfache Benutzung:

```
scala> StandaloneTurtleLenses.TurtleX.get(t);
res12: Double = 0.0

scala> StandaloneTurtleLenses.TurtleX.set(t, 4.3);
res13: Turtles.Turtle = Turtle(Point(4.3,0.0),Color(0,0,0),0.0,false)
```

- Viel *boilerplate*, aber:
- Definition kann **abgeleitet** werden

Abgeleitete Linsen

- Aus der `Shapeless`-Bücherei:

```
object ShapelessTurtleLenses {

  import Turtles._
  import shapeless._, Lens._, Nat._

  val TurtleX = Lens[Turtle] >> _0 >> _0
  val TurtleHeading = Lens[Turtle] >> _2

  def right(t: Turtle, δ: Double) =
    TurtleHeading.modify(t)(_ + δ)
```

- Neue Linsen aus vorhandenen konstruieren

Linsen konstruieren

- Die **konstante** Linse (für $c \in V$):

$$\begin{aligned} const\ c &: S \longleftrightarrow V \\ get(s) &= c \\ put(v,s) &= s \\ create(v) &= s \end{aligned}$$

- Die **Identitätslinse:**

$$\begin{aligned} copy\ c &: S \longleftrightarrow S \\ get(s) &= s \\ put(v,s) &= v \\ create(v) &= v \end{aligned}$$

Linsen komponieren

- Gegeben Linsen $L_1 : S_1 \longleftrightarrow S_2, L_2 : S_2 \longleftrightarrow S_3$
- Die Komposition ist definiert als:

$$\begin{array}{rcl} L_2 \cdot L_1 & : & S_1 \longleftrightarrow S_3 \\ get & = & get_2 \cdot get_1 \\ put(v, s) & = & put_1(put_2(v, get_1(s)), s) \\ create & = & create_1 \cdot create_2 \end{array}$$

- Beispiel hier:

$$\text{TurtleX} = \text{TurtlePosition} \cdot \text{PointX}$$

Mehr Linsen und Bidirektionale Progammierung

- Die `Shapeless`-Bücherei in Scala
- Linsen in Haskell
- **DSL** für bidirektionale Programmierung: Boomerang

Zusammenfassung

- Der **Zipper**
  - Manipulation von Datenstrukturen
  - Zipper = Kontext + Fokus
  - Effiziente destruktive Manipulation
- **Bidirektionale Programmierung**
  - Linsen als Paradigma: *get*, *put*, *create*
  - Effektives funktionales Update
  - In Scala/Haskell mit abgeleiteter Implementierung (sonst als DSL)
- Nächstes Mal: Meta-Programmierung